

## **Potenziale für die Arbeit an Werkzeugmaschinen durch Erweiterungen von Mensch-Maschine-Schnittstellen um mobile Geräte zur Steuerung und Überwachung**

Tobias HELLIG<sup>1</sup>, Julia CZERNIAK<sup>1</sup>, Simon SITTIG<sup>2</sup>, Christopher BRANDL<sup>1</sup>,  
Alexander MERTENS<sup>1</sup>, Christian BRECHER<sup>2</sup>, Christopher M. SCHLICK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen  
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

<sup>2</sup> *Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen Werkzeugmaschinenlabor WZL, RWTH Aachen  
Steinbachstr. 19, D-52074 Aachen*

**Kurzfassung:** Werkzeugmaschinen haben sich zur Erfüllung der stetig steigenden Anforderungen in den letzten Jahrzehnten von verhältnismäßig einfachen Werkzeugen zu komplexen High-Tech-Systemen entwickelt. Dennoch konnte bisher nur eine leichte Modifizierung von Steuerungskonzepten an Werkzeugmaschinen verzeichnet werden. Im Rahmen einer Analyse von typischen Arbeitsabläufen bei der Nutzung von Werkzeugmaschinen konnte eine strukturierte Auflistung relevanter Aufgaben und Ziele bei der Maschinenbenutzung erstellt werden. Durch die Studie wurde deutlich, dass eine dezentrale Bereitstellung von Informationen und Interaktionsmöglichkeiten eine deutliche Verbesserung der ergonomischen Situation des Maschinenbenutzers herbeiführen kann.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Maschine-Interaktion, Werkzeugmaschine, Hierarchische Aufgabenanalyse, mobile Mensch-Maschine-Schnittstelle

### **1. Einleitung**

Werkzeugmaschinen haben sich zur Erfüllung der stetig steigenden Anforderungen, bspw. an Arbeitsgenauigkeit, Mengenleistung oder Produktkomplexität, in den letzten Jahrzehnten von verhältnismäßig einfachen Werkzeugen zu komplexen High-Tech-Systemen entwickelt. Zudem strebt das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, getrieben durch das Zusammenwachsen von realer und virtueller Welt zu einem Internet der Dinge, die Steuerung und Optimierung von Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerken in Echtzeit durch intelligente Monitoring- und Entscheidungsprozesse an. Insbesondere die steigende Anzahl an mechatronischen Komponenten, welche in Werkzeugmaschinen verbaut werden, sowie deren zunehmende Komplexität führen zu einer Fülle an Funktionen, welche durch menschliche Benutzer der Maschinen beherrscht werden müssen (Kolster 2014, EIMaraghy et al. 2012). Die Zunahme der Funktionsvielfalt an Werkzeugmaschinen führte im Laufe der Zeit zu einer steigenden Anzahl an physikalischen Eingabeelementen an Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS). Kolster (2014) konnte einen Anstieg der physikalischen Eingabeelemente um bis zu 400% seit Einführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen feststellen. Trotz dieser Komplexitätszunahme ist in den vergangenen Jahrzehnten nur eine leichte Modifizierung von Steuerungskonzepten an Werkzeugmaschinen zu verzeichnen (Brecher et al. 2011). Diese Entwicklung führt zu einer starken Beanspruchung von Maschinenführern, da heutige MMS keinen intuitiven Zugang zur Funktionsfülle der Maschinen eröffnen (Abele & Reinhart

2011). Durch Studien konnte gezeigt werden, dass eine Ausrichtung der Gestaltung von MMS an menschliche Bedürfnisse und Eigenschaften zu einer Reduktion von Fehlerraten und Beanspruchung sowie zu einer Steigerung von Effektivität und Effizienz bei der Interaktion führen kann (Bligard & Osvalder 2014, Mertens 2014, Schneider et al. 2008). Dies macht die Berücksichtigung des Menschen sowie die Identifizierung des Nutzungskontexts bereits im Entwicklungsprozess von MMS unentbehrlich.

Eine geeignete Methode hierfür stellt die Hierarchische Aufgabenanalyse (HAA) dar (Hildebrandt et al. 2010). Die HAA ermöglicht die systematische Analyse von Arbeitsabläufen und gibt eine strukturierte Auflistung aller relevanten (Teil-)Aufgaben eines Benutzers wieder (Stanton 2006).

Mit dem Ziel die Mensch-Maschine-Interaktion an Werkzeugmaschinen zu verbessern, wurde eine HAA am Beispiel der Arbeitsaufgabe eines Rüstvorgangs durchgeführt.

## 2. Methode

Die HAA gründet auf der Annahme, menschliches Verhalten unterliege einer zielgerichteten Handlungsweise, welche aus einer Hierarchie von Unterzielen besteht und einem Plan folgend durch Operationen abgearbeitet wird (Stanton 2006). Das methodische Vorgehen einer HAA ist an drei Grundsätzen ausgerichtet.

1. Zunächst wird die Arbeitsaufgabe des Benutzers nach ihren Zielen beschrieben.
2. Anschließend erfolgt die Gliederung dieser Ziele in Unterziele.
3. Die Vorgehensweise zur Zielerreichung wird durch Operationen spezifiziert. Pläne verknüpfen diese Operationen und legen die Reihenfolge der Abarbeitung fest (Annet 2003).

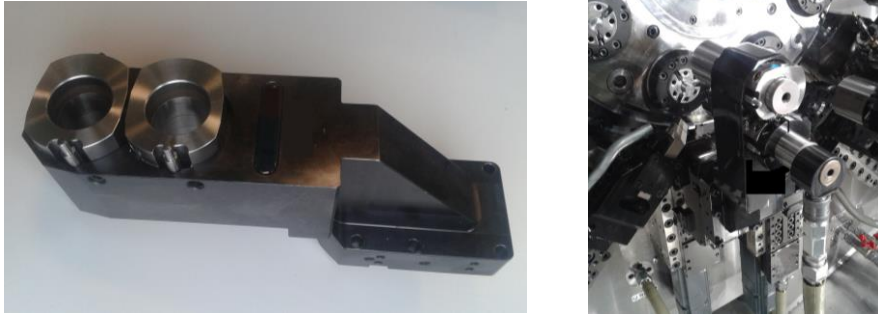
Die Untergliederung von Arbeitsaufgaben in Unterziele kann bis in eine beliebige Tiefe vorgenommen werden. Allerdings sollte die Untergliederung nur so weit fortgeführt werden, wie es für den Produktentwicklungsprozess erforderlich ist (Hildebrandt et al. 2014).

Zur Identifikation des Nutzungskontextes wurde eine repräsentative Arbeitsaufgabe bei der Interaktion eines Maschinenführers mit einer Werkzeugmaschine analysiert. In einem Expertengespräch mit Vertretern aus der Arbeitswissenschaft, Maschinen- und Steuerungsherstellung, Arbeitssicherheitsexperten sowie Maschinenführern wurde diese Arbeitsaufgabe ausgewählt. Ziel dieser Arbeitsaufgabe ist die Montage und Ausrichtung eines Werkzeughalters an einem CNC-Drehautomaten.

Für die Analyse der Montage und Ausrichtung eines Werkzeughalters fand eine Beobachtung von Maschinenführern während der Ausführung der ausgewählten Arbeitsaufgabe statt. Die Ausführungen wurden gefilmt, so dass eine retrospektive Analyse durchgeführt werden konnte. Abbildung 1 links zeigt einen solchen Werkzeughalter, Abbildung 1 rechts zeigt einen Werkzeughalter in eingebautem Zustand im Arbeitsraum eines CNC-Drehautomaten.

## 3. Ergebnisse

Die Montage und Ausrichtung eines Werkzeughalters ist in Abbildung 2 in Form eines HAA-Plans detailliert dargestellt. Um die Sichtbarkeit der einzelnen Operationen,



**Abbildung 1:** Werkzeughalter (links), in eingebautem Zustand (rechts)

welche sich durch Interaktion zwischen Maschinenführer und MMS auszeichnen, zu erhöhen, wurden diese im abgebildeten HAA-Plan farblich hervorgehoben.

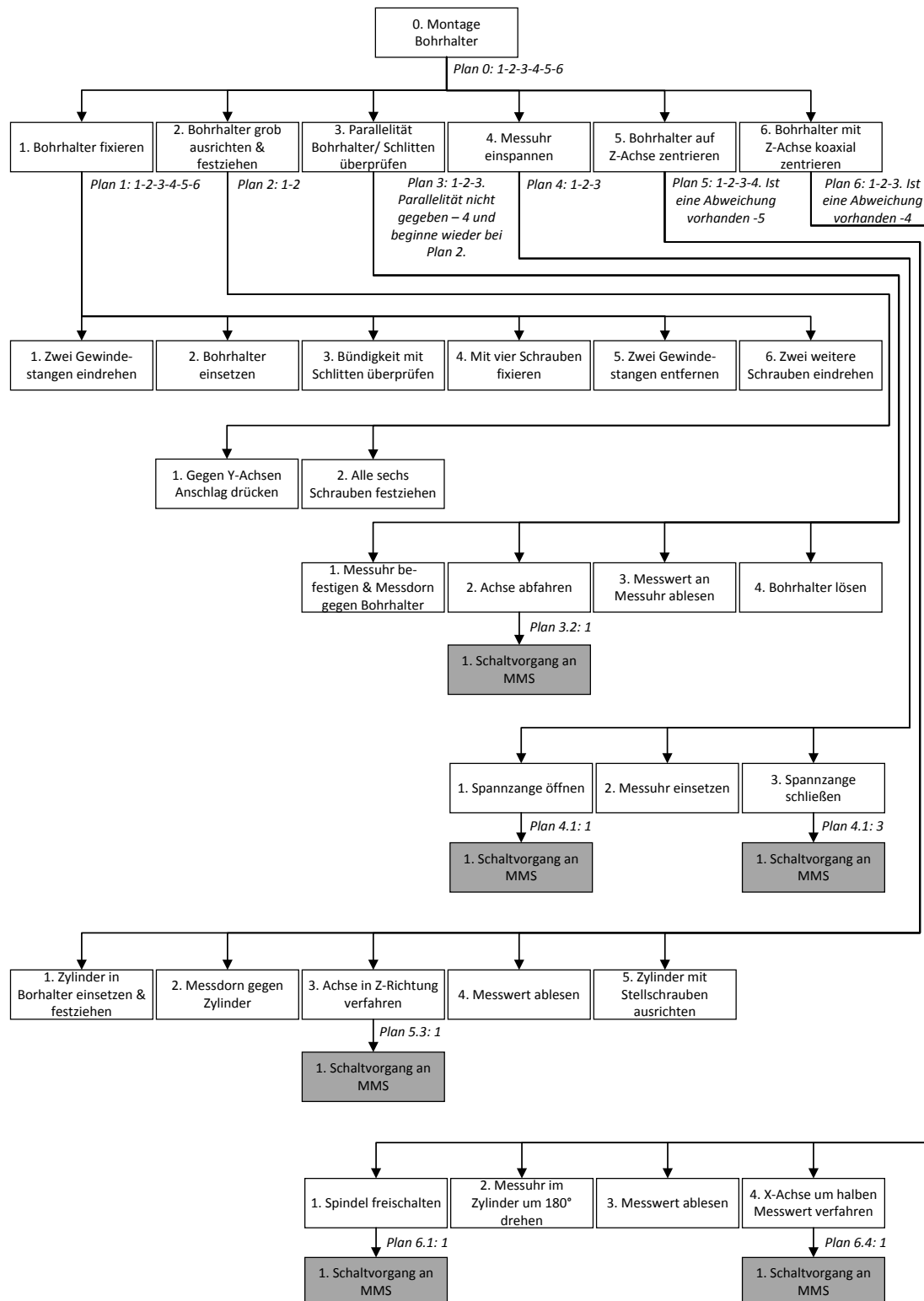
Der Prozess beginnt mit dem Fixieren des Werkzeughalters an seiner ungefähren Position auf dem Werkzeugschlitten. Nach einer ersten Grobausrichtung und dem Festziehen des Werkzeughalters durch sechs Schrauben muss die Parallelität des Schlittens mit dem Werkzeughalter überprüft werden. Dazu misst der Maschinenführer mithilfe einer Messuhr die Parallelität von Werkzeughalter und Schlitten in Radialrichtung (x-Achse).

Nach dem Befestigen der Messuhr erfolgt hierzu durch einen Schaltvorgang an der MMS das Abfahren der Achse in x-Richtung. Anschließend kann der Werkzeughalter ggf. parallel zum Werkzeugschlitten ausgerichtet werden. Um den Werkzeughalter auf die z-Achse zu zentrieren ist das Einsetzen einer Messuhr in die Spindel notwendig. Durch einen weiteren Schaltvorgang an der MMS kann die Spannzange hierzu geöffnet und geschlossen werden. Nachdem der Messdorn der Messuhr an den Werkzeughalter gebracht wurde, erfolgt das Abfahren der Achse in z-Richtung. Durch Ablesen der Messuhr lässt sich anschließend feststellen, ob der Werkzeughalter parallel zur z-Achse steht oder eine weitere Ausrichtung notwendig ist. Im letzten Schritt erfolgt die Zentrierung des Werkzeughalters auf Koaxialität mit der z-Achse. Hierzu muss zunächst durch einen Schaltvorgang eine Freigabe der Spindel erfolgen, damit die darin eingesetzte Messuhr von Hand um den Werkzeughalter herum bewegt werden kann. Nachdem die Messuhr um 180° um den Werkzeughalter herum bewegt wurde, kann die Abweichung des Werkzeughalters von der Achsenmitte abgelesen und dieser durch das Verfahren der x-Achse um den halben Messwert korrigiert werden.

Die Beobachtung der Arbeitsaufgabe zeigte zudem, dass manuelle Tätigkeiten, wie z. B. Verschraubungsvorgänge oder auch das Ausrichten der Messuhren im inneren des Maschinenarbeitsraumes auszuführen sind, wohingegen sämtliche Schaltvorgänge an der MMS außerhalb des Arbeitsraumes auszuführen sind. Aus diesem Grunde ist zur Ausführung sämtlicher Schaltvorgänge das Verlassen des Arbeitsraumes der Maschine notwendig.

Außerdem konnte beobachtet werden, dass dem Maschinenführer das Ablesen der Messuhr nicht immer unmittelbar möglich ist. Durch die Notwendigkeit der Drehung der Messuhr um 180° um den Werkzeughalter herum ist diese durch den Werkzeughalter verdeckt. Der Maschinenführer behalf sich in diesem Fall mit einem einfachen Spiegel, um die Messuhr abzulesen. Dies führte jedoch zu einer Fehlinterpretation der Anzeige der Messuhr, da der Spiegel den Zeiger der Messuhr in spiegelverkehrter Richtung zeigt. Zudem zeigte die Beobachtung der Arbeitsaufgabe, dass unterschiedliche Schaltvorgänge an der MMS in unterschiedlichen Menüebenen erfolgen, da die inhaltliche Struktur des Menüs der MMS funktionsorientiert ist.

Der Maschinenführer muss also vor der Ausführung des Schaltvorgangs zunächst die entsprechende Menüebene auswählen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit konnte dies leider nicht im dargestellten HAA-Plan in Abbildung 2 wiedergegeben werden. Dennoch führt die Suche nach der entsprechenden Menüebene zu einer Zeitverzögerung und stellt ein mögliches Risiko dar, da Fehleingaben durch die Auswahl der falschen Menüebene nicht ausgeschlossen sind.



**Abbildung 2:** HAA Plan der Montage und Ausrichtung eines Bohrhalters

#### 4. Diskussion und Fazit

Im vorliegenden Beitrag konnte eine repräsentative Arbeitsaufgabe der Interaktion des Maschinenführers mit einer Werkzeugmaschine durch eine HAA analysiert werden. Die Ergebnisse der HAA zeigen, dass 20% der insgesamt 30 identifizierten Operationen an der MMS ausgeführt werden. Eine Angabe der Zeitdauer des Anteils der identifizierten Operationen, welche an der MMS ausgeführt werden, an der Gesamtdauer der Arbeitsaufgabe ist leider nicht möglich, da die Gesamtdauer der Arbeitsaufgabe einer hohen Varianz unterliegt. Zudem konnte festgestellt werden, dass die Operationen an der MMS nicht gesammelt durchgeführt werden können sondern verteilt während der Abarbeitung der gesamten Arbeitsaufgabe durchzuführen sind. Deshalb ist der Maschinenführer während der Arbeitsaufgabe mehrfach dazu gezwungen, seine Arbeitsposition zu wechseln. Da von diesem Wechsel der Arbeitsposition insbesondere Operationen in schlecht zugänglichen Bereichen der Maschine, bspw. im Arbeitsraum der Maschine, betroffen sind, führt dies zu einer erhöhten physischen Beanspruchung des Maschinenführers. Außerdem erfordert der klassische Aufbau von Drehautomaten ein Hineinbeugen in den Arbeitsraum, teilweise sogar ein Emporsteigen auf die Plattform des Arbeitsraumes damit dem Maschinenführer das Ausführen von Operationen im Arbeitsraum der Maschine möglich ist. Ebenso muss der Arbeitsraum zur Ausführung der sich oftmals auf wenige Tastendrücke beschränkenden Operationen an der MMS verlassen werden. Neben erhöhten physischen Beanspruchungen resultieren hieraus auch erhöhte kognitive Beanspruchungen, da die Arbeitsaufgabe an einem Ort unterbrochen und an einem anderen Ort fortgesetzt werden muss. Außerdem resultiert aus dem Wechsel der Arbeitspositionen auch eine Verlängerung des zeitlichen Ablaufs der Arbeitsaufgabe.

Zur Verbesserung der Beanspruchungssituation ist der Einsatz technischer Lösungen möglich, welche eine dezentrale Erweiterung der MMS an Werkzeugmaschinen darstellen. Beispielsweise ist der Einsatz von mobilen Geräten, wie z. B. Tablets, Smartwatches, Headsets zur Sprachsteuerung oder auch Head-Mounted Displays möglich. Diesen Geräten ist gemein, dass sie in unmittelbarer Nähe des Maschinenführers bzw. am Körper des Maschinenführers getragen werden können. Der repetitive Wechsel von Arbeitspositionen würde in Folge des Einsatzes solcher Geräte zur Erweiterung der MMS entfallen. Die Ausführung von Schaltvorgängen aber auch das Ablesen von Informationen könnte im Arbeitsraum der Maschine, am Werkzeugmagazin usw. in unmittelbarer Nähe der jeweiligen Arbeitsposition erfolgen. Durch die Möglichkeit, solche mobilen Geräte am Körper zu tragen, würde der Maschinenführer in seiner Beweglichkeit nicht eingeschränkt.

Eine weitere Verbesserung der Beanspruchungssituation könnte durch die Integration der Anzeige von Messuhren in mobile Geräte herbeigeführt werden. Die beobachtete Vorgehensweise des Ablesens von Messergebnissen mit Hilfe von Spiegeln wäre so unnötig. Der Maschinenführer könnte das Messergebnis in digitaler Form auf dem Display eines mobilen Geräts ablesen. Eine Fehlinterpretation von Messergebnissen aufgrund von Ablesefehlern wäre somit ausgeschlossen. Besteht bspw. die Notwendigkeit die Ausrichtung des Werkzeughalters zu korrigieren, könnte dies sofort nach Ablesen des Messwerts erfolgen. Der Wechsel von Arbeitspositionen würde auch in diesem Einsatzszenario der mobilen Geräte entfallen.

Zusätzlich ist durch eine handlungsorientierte Strukturierung des Menüs der MMS eine Reduktion der beobachteten Zeitverzögerung bei der Ausführung von Schaltvorgängen durch die Suche nach den entsprechenden Menüebenen sowie eine Reduktion des Risikos von Fehleingaben durch Auswahl der falschen Menüebene

möglich. Um eine handlungsorientierte Strukturierung der MMS zu realisieren, müssen zunächst alle Arbeitsaufgaben des Maschinenführers im Arbeitsalltag identifiziert und analysiert werden. Hierzu eignet sich die in diesem Beitrag vorgestellte Vorgehensweise der HAA. Anschließend kann die Gestaltung der Menüstruktur der MMS, angelehnt an die analysierte Vorgehensweise angepasst werden. Denkbar wäre die Realisierung von handlungsorientierten MMS durch eine Integration von Applikationen (Apps), welche dem Maschinenführer einen überschaubaren Funktionsumfang bieten können und ihn bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe entlang des optimalen Arbeitsablaufs leiten. Jede App steht dabei für eine eigene Arbeitsaufgabe. Diesem hohen Potenzial zur Lösung bestehender Herausforderung bei der Interaktion mit Werkzeugmaschinen stehen jedoch auch Hemmnisse einer handlungsorientierten Menüstrukturierung der MMS, wie bspw. dem erhöhten Aufwand zur Implementierung entgegen. Ein weiteres Hemmnis stellt der stark individuell geprägte Einsatz von Werkzeugmaschinen dar. Durch kundenindividuelle Produkte und Prozesse unterscheiden sich die Arbeitsabläufe teilweise sehr stark. Eine Implementierung von handlungsorientierten Menüstrukturen müsste vom Maschinenhersteller an die individuellen Bedürfnisse der Kunden angepasst werden. In nachfolgenden Forschungsarbeiten sind deshalb Lösungen zu finden, durch die Unternehmen befähigt werden, eine handlungsorientierte Menüstruktur mit geringem Aufwand zu implementieren.

## 5. Literatur

- Abele E, Reinhart, G (2011) Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Carl Hanser Verlag.
- Annet J (2003) Hierarchical task analysis. In: Erik Hollnagel (Ed) Handbook of cognitive task design. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum:17-35.
- Bligard LO, Osvelder AL (2014) CCPE: Methodology for a Combined Evaluation of Cognitive and Physical Ergonomics in the Interaction between Human and Machine. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 24:685-711.
- Brecher C, Kolster D, Herfs W (2011) Innovative Benutzerschnittstellen für die Bedienpanels von Werkzeugmaschinen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106:553-556.
- CEN, European Committee for Standardization (2010) Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centered design for interactive systems. EN ISO 9241-210.
- EIMaraghy W, EIMaraghy H, Torniyama T, Monostori L (2012) Complexity in engineering design and manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology 61:793-814.
- Hildebrandt M, Kain S, Kesselring K, Nachtwei J, Niestroj N, Schwarz H (2010) Die Hierarchische Aufgabenanalyse im Babel interdisziplinärer Softwareentwicklungsprojekte. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 64:374-380.
- Mertens A (2014) Alternsgerechte Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen zur ergonomischen Interaktion mit telemedizinischen Systemen und Dienstleistungen. Dissertation RWTH Aachen. Aachen: Shaker Verlag.
- Kolster D (2014) Handlungsorientierte, multimodale Werkzeugmaschinen Benutzerschnittstellen. Dissertation RWTH Aachen. Aachen: Apprimus Verlag.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin, Springer Verlag.
- Schneider N, Schreiber S, Wilkes J, Grandt M, Schlick C (2008) Foundations of an age-differentiated adaption of the human-computer-interface. Behaviour & Information Technology 27:319-324.
- Stanton N (2006) Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. Applied Ergonomics 37:55-79.

**Danksagung:** Das diesem Beitrag zugrundeliegende Forschungsvorhaben "Maxi-MMI – Multimodale, aufgabenorientierte Bediensysteme zur flexiblen und nutzerzentrierten Mensch-Maschine-Interaktion an Produktions-maschinen" wurde mit Mitteln des BMBF (FKZ: 16SV6237) gefördert. Projektträger ist der VDI/VDE-IT.